

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-113543

(43)公開日 平成5年(1993)5月7日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 2 B 26/08

識別記号

庁内整理番号

E 7820-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3(全 6 頁)

(21)出願番号 特願平3-301032

(22)出願日 平成3年(1991)10月21日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 幸田 成人

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 芹川 正

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 白井 誠一

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 長尾 常明

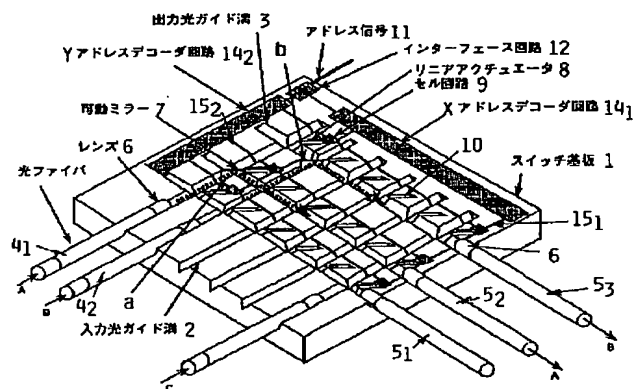
最終頁に続く

(54)【発明の名称】マトリクス光スイッチ

(57)【要約】

【目的】 挿入損失が少なく、スイッチ規模が大きく、且つ小型、高速で、消費電力を少なくできるようにしたマトリクス光スイッチを提供すること。

【構成】 複数の入力光路と複数の出力光路の交差する差点の各々に可動反射装置7を設け、所定の差点の可動反射装置7を移動させることによって該差点を通る入力光路と出力光路を接続するマトリクス光スイッチにおいて、各々の可動反射装置7を共通のスイッチ基板1上に形成し、その可動反射装置7の移動駆動を上記スイッチ基板1に一体形成されたアクチュエータ及び電子装置によって制御・駆動する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の入力光路と複数の出力光路とが互いに交差し、該複数の入力光路と該複数の出力光路との差点の各々に可動反射装置を設け、所定の差点の可動反射装置を入力光路中に移動挿入することにより、該差点を通る入力光路を該差点を通る出力光路に接続するマトリクス光スイッチにおいて、

前記可動反射装置の各々が同一基板上に形成され、且つ前記可動反射装置の移動が前記基板上に一体で形成されたアクチュエータ及び電子装置によって制御・駆動されることを特徴とするマトリクス光スイッチ。

【請求項2】 前記アクチュエータがリニアアクチュエータからなり、静電誘導、電磁誘導、超音波、電歪、磁歪、光歪、又は形状記憶合金のいずれか1つ或いは複数を駆動原理とすることを特徴とする請求項1に記載のマトリクス光スイッチ。

【請求項3】 前記アクチュエータが回転アクチュエータからなり、静電誘導、電磁誘導、超音波、電歪、磁歪、光歪、又は形状記憶合金のいずれか1つ或いは複数を駆動原理とすることを特徴とする請求項1に記載のマトリクス光スイッチ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば光通信網や光交換システム等において、複数の光信号端子間の回線切替を行うマトリクス光スイッチに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光伝送システムを通信網に導入し、その特徴を生かすには、回線切替を光電/電光変換でなく光スイッチで行うことが望ましい。例えば、発呼量に応じて多重回線群の網構成を変化させるためには、100×100端子規模の光スイッチ網が要求される。また、将来有望視されている画像情報サービスの構成手段として、広帯域特性を有する光交換方式が有効であるが、通話路スイッチを始め、装置間の光インターコネクションのダイナミック化や集線スイッチ等、大容量で、且つ低損失、低クロストークの光スイッチが必要である。

【0003】 光スイッチとしては、電気光学効果を用いたスイッチと、プリズム或いはファイバを機械的に移動させるメカニカルスイッチが提案されている。前者は現在のところ、 $\text{LiNbO}_3$ や石英からなる光導波路の屈折率を電氣的に制御して光路を切り替える2入力、2出力スイッチ(2×2スイッチ)の開発が最も進んでいる。しかし、これらのスイッチを同一基板上にマトリクス形成したマトリクス光スイッチでは、スイッチ規模が高々8入力、8出力(8×8スイッチ)程度としても、挿入損失は20dB以上となり、先に述べたような分野への適用は困難である。一方、後者については、光ファイバの移動、ミラー或いはプリズムの移動・回転を原理として、1×2スイッチ或や2×2スイッチが開発され

ている。そこで、これらのスイッチを用いて更に大規模スイッチを構成しようとする、縦接続枚数が増して挿入損失が増大すると共に、単位スイッチの寸法が大きいため装置寸法が膨大になるという問題がある。このようなことから、光スイッチ網を効率よく構成するためには、低損失で且つ大規模なマトリクス光スイッチが必要である。

【0004】 従来から、マトリクス形のメカニカル光スイッチについてはいくつかの提案がある。図7は電子通信学会論文誌 J64-C巻、12号、819ページに記載されている10×10の空間光ビーム/ミラー挿入光路切替え形のマトリクス光スイッチの概略構成図である。

【0005】 光学定盤61上に位置合わせされた入力光ファイバ62から出た光は、レンズ63でコリメートされた光ビーム64となり、入力光路65に導入される。出力光路66との差点(交差点)の所定の位置に反射装置(例えば、ミラー、プリズム等)67を挿入することにより、光ビームはそこで反射されて出力光路66に導かれ、レンズ68を通して出力光ファイバ69に集光される。

【0006】 この従来例では、入力端と出力端の間では光は一度反射されるだけで、任意の端子間の接続が可能であり、挿入損失やクロストークがスイッチ規模に依存しないという優れた性質がある。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、この従来技術の範囲では、反射装置67は個別に精密加工したプリズムであり、プリズムの出し入れ機構は、マトリクス面とは別の筐体70に固定されたソレノイドの上下移動によって制御されている。従って、マトリクスの寸法はソレノイドの寸法或いはプリズムの寸法で制限されることになる。

【0008】 スwitchを小型にするためには、これらの光学部品、機構部品が小さいことが望ましいが、小さくなるほど加工精度や位置決め制御が難しくなるため限界がある。具体的には、一差点の占める実効面積として10mm角、上下機構を含むソレノイドの高さとして10mm程度は必要である。例えば、大規模なマトリクススイッチとして100×100のスイッチを実現しようすると、一辺は2mにもなり、スイッチ部品として装置内で自由に使える規模を逸脱した非現実的な値となる。また、プリズムやアクチュエータアームの軽量化にも制約があるので、スイッチの応答速度の高速化、低消費電力化も困難となっている。

【0009】 本発明はかかる事情に鑑みてなされたもので、その目的は、挿入損失が少なく、スイッチ規模が大きく、且つ小型、高速で、消費電力を少なくできるようにしたマトリクス光スイッチを提供することである。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】このために本発明は、複数の入力光路と複数の出力光路とが互いに交差し、該複数の入力光路と該複数の出力光路との差点の各々に可動反射装置を設け、所定の差点の可動反射装置を入力光路中に移動挿入することにより、該差点を通る入力光路を該差点を通る出力光路に接続するマトリクス光スイッチにおいて、前記可動反射装置の各々が同一基板上に形成され、且つ前記可動反射装置の移動が前記基板上に一体で形成されたアクチュエータ及び電子装置によって制御・駆動されるように構成した。

#### 【0011】

【作用】本発明によれば、可動反射装置と該可動反射装置を駆動するアクチュエータが同一基板上に一体形成されている。このような構成は、近年開発されたマイクロマシーニング技術を用いることにより実現できるものである。このマイクロマシーニング技術を用いたマイクロアクチュエータは、1987年にピンジョイントや回転タービンとして始めて発表され、現在おもに微小なメカニカルセンサとして研究が進められている。このようなマイクロマシーニング技術をメカニカルマトリクス光スイッチに応用すると、個別部品をアセンブリした従来のメカニカルマトリクス光スイッチ技術の制約を除去できる。よって、性能を飛躍的に向上でき、大規模なマトリクス光スイッチを形成でき、反射装置の微小化・軽量化に伴って移動距離・時間が短縮され、高速化・低消費電力化が可能となる。

#### 【0012】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。図1はその一実施例のマトリクス光スイッチの構成図である。スイッチ基板1には入力光ガイド溝2と出力光ガイド溝3が形成され、それぞれの光ガイド溝2、3では入力光ファイバ4<sub>1</sub>～4<sub>3</sub>、出力光ファイバ5<sub>1</sub>～5<sub>3</sub>がそれぞれレンズ6に光学的に接続された状態で装着されている。入力光ガイド溝2と出力光ガイド溝3の各差点には、可動反射装置とその可動反射装置を移動させるアクチュエータが形成されている。ここでは、可動反射装置として可動ミラー7が、またアクチュエータとしてその可動ミラー7をスイッチ基板1の表面に平行に移動させるリニアアクチュエータ8及びセル回路9が形成されている。可動ミラー7のミラー面は、入力光ガイド溝2を通過して入射した光ビームを出力光ガイド溝3の方向に反射させる角度に設定されている。

【0013】この構成では、光ビームを直進させるとき、可動ミラー7は入出力ガイド溝2、3から外れた位置の収納溝10に格納されているが、所定の差点を示すアドレス信号11がインターフェース回路12を通して与えられると、当該差点のリニアアクチュエータ8が駆動され、可動ミラー7が出力光ガイド溝2、3の差点の中に移動挿入される。その結果、入射光ビームはその差点で反射し、光路が偏向される。図1では、入力光ファイバ4<sub>1</sub>から出た光ビームAが、差点aで反射して出力光ファイバ5<sub>2</sub>に接続され、入力光ファイバ4<sub>2</sub>から出た光ビームは差点bで反射し、出力光ファイバ5<sub>3</sub>に接続される様子を示す。

【0014】マトリクス状に配置された各差点の選択には、通常のアドレスデコーダを用いた。図2に各差点のセル回路9の等価回路を示す。本実施例では、アドレス信号はXアドレスデコーダ14<sub>1</sub>とYアドレスデコーダ14<sub>2</sub>とに分配され、Xアドレス線15<sub>1</sub>とYアドレス線15<sub>2</sub>の内それぞれ1本を活性化し、セル回路9内の選択回路16によって所定の差点を選択し、駆動回路17によってアクチュエータ8を駆動すると構成とした。なお、駆動回路17はセル回路9ではなく、Yアドレスデコーダ14<sub>2</sub>内に配置することもできる。

【0015】図1のスイッチ基板1は、シリコンウエハ上にLSI技術と最近開発されたマイクロマシーニング技術を用いて形成した。可動ミラー7やリニアアクチュエータ8の形成に必要な深い溝加工や垂直鏡面加工、或いは自由運動が可能な構造の形成には、シリコンの結晶異方性エッチング、犠牲層エッチング、集束イオンビームエッチングを用いて実現することができた。また、選択回路16及びアクチュエータ駆動回路17等の電子回路はLSI技術を用いて同一シリコン基板上に一体形成した。なお、図1では、アドレスデコーダ回路14<sub>1</sub>、14<sub>2</sub>とインターフェース回路12もスイッチ基板1上に一体形成されているが、これら周辺回路は必ずしも一体形成する必要はない。

【0016】図3～図5は各差点におけるリニアアクチュエータによる可動ミラーの移動機構の例を示す図である。まず図3はシリコン基板上に形成された静電誘導形リニアアクチュエータの例であって、ミラー21（可動ミラー7に相当）に装着されてそこに載った可動電極22を、絶縁膜と空隙を介して3相駆動電極23<sub>1</sub>～23<sub>3</sub>で挟んだ構造である。1つの駆動電極23<sub>1</sub>に正のバルス電圧を印加すると、可動電極22の対応する位置の表面に負電荷24が誘起される。次に先のバルス電圧の極性を反転させ隣接電極23<sub>2</sub>に正のバルス電圧を印加すると、電荷24と隣接電極23<sub>2</sub>間に引力が、また電荷24と元の電極間23<sub>1</sub>間に斥力が働き、可動電極が移動する。このように、3相駆動電極23<sub>1</sub>～23<sub>3</sub>に順次位相のずれたバルス電圧を印加することにより、ミラー21をリニアに移動させることができた。

【0017】図4は、電磁誘導形リニアアクチュエータの例を示す図であって、側面をミラー31（可動ミラー7に相当）とした永久磁石スライダ32を細いガイド溝（図示せず）に嵌め込み、そのガイド溝の両端に電磁石33、34を固定した構造である。電磁石33、34の薄膜コイル35の電流の向きを制御してS/Nの向きを切替えることによって、永久磁石スライダ32との間のS/Nの引力、斥力により、永久磁石スライダ3

2、つまりミラー31を移動させることができた。

【0018】図5は、圧電薄膜上に形成した超音波駆動リニアアクチュエータの例を示す図であって、裏面に楕形電極41を有するZnO等の圧電薄膜42の表面にスライドミラー43（可動ミラー7に相当）をガイド溝（図示せず）を挟んで設置したものである。楕形電極41に位相のずれた高周波電圧を印加すると、圧電薄膜42の表面に超音波の定在波が発生し、その進行によってスライドミラー43を移動させることができた。

【0019】以上の3例の外にも、本発明が適用できるリニアアクチュエータの駆動原理として、形状記憶合金薄膜からなるカンチレバーに微小ミラーを設置し、該カンチレバーに電流を流し温度を変化させることによってミラーを移動させる方法や、薄膜圧電バイモルフを用いたカンチレバーに微小ミラーを設置し、そのカンチレバーに電圧を印加して変位を生じさせミラーを移動させる方法、圧電バイモルフの代わりに磁歪薄膜と磁界を用いる方法、或いは光歪を示す光学結晶と光照射を用いる方法等を使用できる。

【0020】これらの可動ミラーとリニアアクチュエータによる方法はいずれもマクロマシーニング技術を用いて、シリコン等の基板上に微小な寸法でマトリクス状に形成することができる。

【0021】以上の実施例は可動ミラーを平行移動させて入出力光路に挿入することとしたものであるが、可動ミラーを回転して入出力光路に挿入することも可能である。図6は静電誘導形のマイクロステップモータで回転軸を基板に垂直にしたロータ51上に設置された可動ミラー52を回転させる差点の構成例である。光ビームが直進する場合、可動ミラー52は光ガイド溝の側壁に仮想線で示すように収納されているが、差点が選択されるとマイクロステップモータのロータ51が回転し、可動ミラー52は入出力光路中に挿入される。この可動ミラー52の角度は出力光路に所定の角度に形成された壁面53につき当てる方法で精度良く設定できた。本実施例では、回転アクチュエータの原理をステップモータとしたが、その外にも電磁誘導形回転モータ、超音波回転モータ、電歪、磁歪、光歪のいずれか或いはそれらの複合を駆動原理とすることもできる。また、回転軸を基板と平行に設置し、光を直進させるときはミラーを水平位置とし、反射させるときは垂直位置とするように回転させる構造も採用できる。

【0022】以上の実施例では反射装置をミラーとしたが、光を効率的に反射できるものであれば、これに限ら

ない。また、光ガイド溝、入出力光ファイバ、レンズについても、一構成例として取り上げたもので、本発明の必須要件でないことは自明である。

#### 【0023】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、同一基板上に微少なピッチで多数の可動反射装置やアクチュエータを一括してマトリクス状に配置でき、このため、大規模なマトリクス光スイッチを形成することができる。例えば、差点ピッチ200 $\mu$ mが可能であり、このとき100 $\times$ 100のマイクロ光スイッチの寸法は2cm角となり、従来技術に比べて1万分の1に小型化できたことになる。更に、反射装置の微小化・軽量化に伴い、移動距離や時間が短縮され、高速化・低消費電力化が可能となるという利点もある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例のマトリクス光スイッチの構成を示す図である。

【図2】 同実施例の差点のセル回路の等価回路図である。

【図3】 同実施例の可動ミラーを平行移動させるための第1のリニアアクチュエータの構成を示す図である。

【図4】 同実施例の可動ミラーを平行移動させるための第2のリニアアクチュエータの構成を示す図である。

【図5】 同実施例の可動ミラーを平行移動させるための第3のリニアアクチュエータの構成を示す図である。

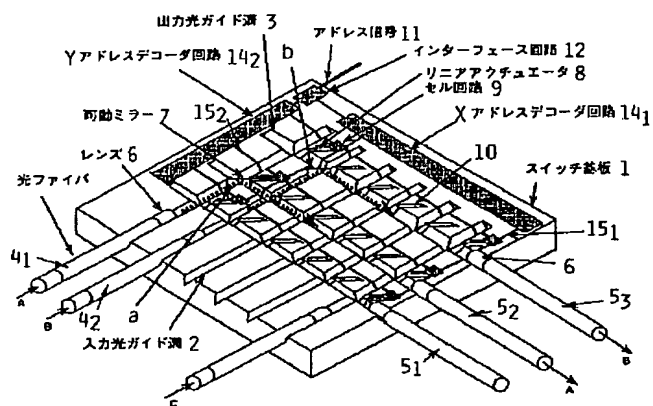
【図6】 同実施例の可動ミラーを回転させるための回転アクチュエータの機構の説明図である。

【図7】 従来のマトリクス光スイッチの構成を示す図である。

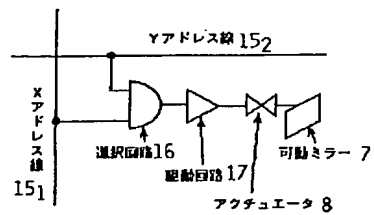
#### 【符号の説明】

1：スイッチ基板、2：入力光ガイド溝、3：出力光ガイド溝、4：入力光ファイバ、5：出力光ファイバ、6：レンズ、7：可動ミラー、8：リニアアクチュエータ、9：セル回路、10：収納溝、11：アドレス信号、12：インターファース回路、14<sub>1</sub>：Xアドレスデコーダ回路、14<sub>2</sub>：Yアドレスデコーダ、15<sub>1</sub>：Xアドレス線、15<sub>2</sub>：Yアドレス線、16：選択回路、17：駆動回路、21：ミラー、22：可動電極、23<sub>1</sub>～23<sub>3</sub>：3相駆動電極、24：負電荷、31：ミラー、32：永久磁石スライダー、33、34：電磁石、35：薄膜コイル、41：楕形電極、42：圧電薄膜、43：スライダーミラー、51：マイクロステップモータのロータ、52：可動ミラー、53：壁面、

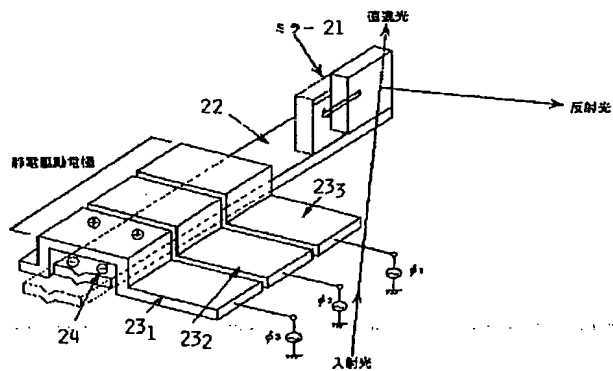
【図1】



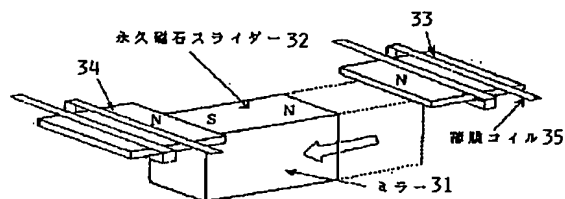
【図2】



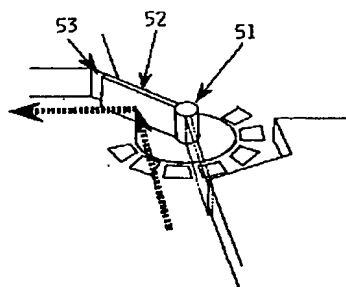
【図3】



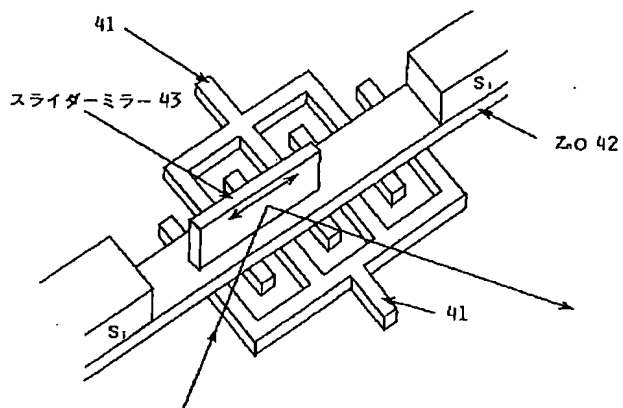
【図4】



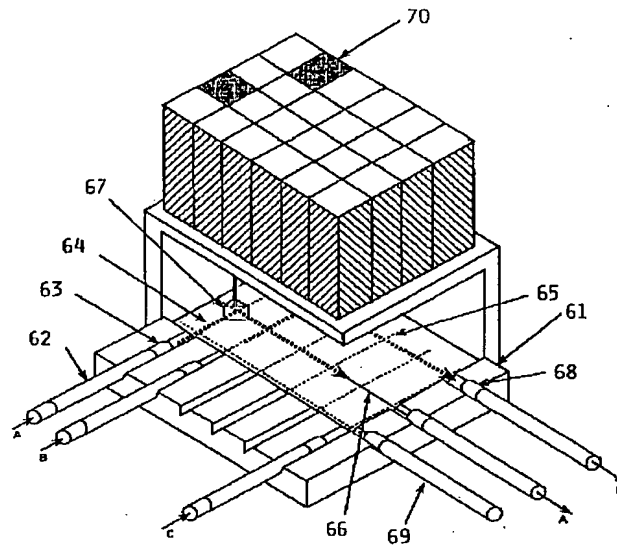
【図6】



【図5】



【図7】



【手続補正書】

【提出日】平成4年11月2日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】発明の名称

【補正方法】変更

【補正内容】

【発明の名称】マトリクス光スイッチ

フロントページの続き

(72)発明者 岡村 正通  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 山内 規義  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

# MATRIX OPTICAL SWITCH

JAPAN PATENT OFFICE

PUBLICATION OF LAID-OPEN PATENT APPLICATION (A)

Publication number : 1993-113543

5 Date of publication of application : 07.05.1993

Int.CI<sup>5</sup>. G02B 26/08

In house reference number: F1

E 7820-2K

Examination is not requested yet.

10 The number of claims: 3 (6 pages in total)

TITLE OF INVENTION : MATRIX OPTICAL SWITCH

APPLICATION NUMBER : 03-301032

DATE OF FILING : 21.10.1991

APPLICANT : NIPPON TELEGRAM AND TELEPHONE  
LIMITED

INVENTOR : KOHDA, NARITO  
SERIKAWA, TADASHI  
SHIRAI, SEIICHI

15

ATTORNEY : NAGAO, TSUNEAKI

## SPECIFICATIONS

20 1. TITLE OF INVENTION  
MATRIX OPTICAL SWITCH

### 2. CLAIM

1 A matrix optical switch comprising:  
plural input optical passages;  
25 plural output optical passages that intersect the  
plural input optical passages; and

a movable reflecting device that is arranged on  
each intersecting point where the plural input  
optical passages and the plural output optical  
30 passages intersect each other, wherein,

by moving and inserting the movable reflecting  
device on the given intersecting point onto an input  
optical passage, the input optical passage connects  
to an output optical passage passing through the  
35 intersecting point; wherein

the each movable reflecting device is formed on the same substrate, respectively and movement of the movable reflecting device is controlled and driven by an actuator and an electric device integrally  
5 formed on the substrate.

2 The matrix optical switch set forth in claim 1, wherein

the actuator is composed of a linear actuator and uses any of electrostatic induction, electromagnetic  
10 induction, ultrasound, electrostriction, magnetostriction, opticalstriction or shape-memory alloy or a plurality thereof as a driving principle .

3 The matrix optical switch set forth in claim 1, wherein

15 the actuator is composed of a rotary actuator and uses any of electrostatic induction, electromagnetic induction, ultrasound, electrostriction, magnetostriction, opticalstriction or shape-memory alloy or a plurality thereof as a driving principle.

20

[0001]

[FIELD OF THE INVENTION]

This invention relates to a matrix optical switch and, more particularly, to a matrix optical switch  
25 that performs a line exchange between plural optical signal terminals, for example, in an optical communication network, an optical exchange system and the like.

30 [0002]

[BACKGROUND OF THE INVENTION]

To install an optical transmission system into a communication network and utilize its characteristic, it is preferable that a line exchange is performed  
35 by an optical switch, not by a light-electro/electro-light transfer. For example, in order to change a network structure of a group



of a multiple line in response to an amount of a call-out, an optical switch network of a 100-by-100 terminal size is demanded. Also, as a constituting tool of a promising image information service, an optical exchange system with a broad band characteristic is effective, but to begin with an calling switch, for the purpose of dynamics of an optical interconnection between devices and like a line concentration switch, an optical switch of a large capacity, but a low loss and a low crosstalk is required.

[0003]

As an optical switch, a switch that uses an electro-optic effect and a mechanical switch that moves a prism or a fiber mechanically have been proposed. With regard to the former, as of today, a development of a two-input/two-output switch (a 2-by-2 switch) that performs a switching of a light beam passage controlling a refractive index of a light guide of  $\text{LiNb}_2\text{O}_3$  and silicon electronically has most advanced. However, in a matrix optical switch formed in matrix form on the same substrate with these switches, even with a switch size of an extent of 8-input/8-output at best, an insertion loss becomes equal or more than 20dB and it is quite difficult to apply the switch to the foregoing fields. On the other hand, regarding the latter, as a principle of a movement of an optical fiber, a movement and a rotation of a mirror or a prism, a 1-by-2 switch or a 2-by-2 switch has been developed. Then, when trying to make a large size switch using these switches, there are problems that as a number of longitudinally connecting switches increase, an insertion loss gets increased and a device dimension becomes massive since a dimension of a switch unit is large. Accordingly, in order to constitute an optical switch network efficiently, a matrix optical switch of a

low loss and a large size is required.

[0004]

Conventionally, with regard to a mechanical optical switch in matrix form, there have been several ideas.

5 FIG.7 is a skematic configuration view of a matrix optical switch of the 10-by-10 inserting aerial light beam/mirror and switching a light beam passage as described at page 819 of the academic journal of "Electro communication academic conference", J64-C  
10 Vol. # 12.

[0005]

A light beam emitted from input optical fiber 62 aligned on optical board 61 becomes light beam 64 that is collimated by lens 63 and is guided into input  
15 light passage 65. By inserting reflecting device 67 (e.g. mirror, prism and so on) into a given position of a point (crossing point) intersecting output light passage 66, a light beam is reflected thereon and is guided into output light passage 66 and is converged  
20 into output light fiber 69 through lens 68.

[0006]

In this conventional example, a light beam is reflected only once between an input end and an output end, so an any connection between ends is possible  
25 and this example has a good property in which an insertion loss and a crosstalk do not rely on a switch size.

[0007]

30 [OBJECTS TO BE OVERCOME]

However, in a scope of this conventional technology, reflecting device 67 is a prism that is separately processed with a high precision and a bring in/out prism mechanism is controlled by an upward/downward  
35 movement of a solenoid fixedly fitted into box 70 separate from a matrix surface. Thus, a matrix size inevitably gets limited by a solenoid size or a prism

size.

[0008]

To miniaturize a switch, it is preferable that these optical and mechanical elements are small, but the smaller they are, the more difficult it is to control a precision accuracy and an alignment and so, there is a limitation. More specifically, as an effective area occupied by a single intersecting point, 10-by-10mm square and 10mm or so as a height of a solenoid including an up/down mechanism are required. For example, when trying to attain a 100-by-100 switch as a matrix switch of a large size, its one side turns out to be 2m which is an unrealistic value exceeding far beyond a size usable freely inside a device. Also, as there is a limitation to lowering weights of a prism and an actuator arm, it becomes hard to speed up a response speed of a switching and realize a low energy consumption.

[0009]

Taking these situations into consideration, this invention is created and it is an object of this invention to provide a matrix optical switch that realizes minimal insertion loss, a large switching size, but a miniaturization, a high-speed and a low energy consumption.

[0010]

[MEASUREMENTS TO OVERCOME THE DRAWBACKS]

A matrix optical switch includes plural input light passages, plural output light passages that intersect the plural input optical passages and a movable reflecting device that is arranged on each intersecting point where the plural input optical passages and the plural output optical passages intersect each other, wherein

an input optical passage connects to an output optical passage passing through the intersecting point by moving and bringing an movable reflecting device on the given intersecting point into an input

optical passage; wherein

the movable reflecting device is formed on the same substrate, respectively and movement of the movable reflecting device is controlled and driven by an actuator and an electric device

5 integrally formed on the substrate.

[0011]

[0009]

[Action]

10 According to this invention, a movable reflecting device and an actuator driving the movable reflecting device are integrally formed on the same substrate.

A structure like this can be realized using a recently developed micromachining technology. A micro actuator using this micro machining technology was

15 made public as a pin joint and a rotary turbine for the first time in 1987 and research work of this actuator using the micro machining technology has now proceeded as a micro mechanical sensor.

20 Application of this micromachining technology to a mechanical matrix optical switch can dismantle a limitation to a technology of a conventional

mechanical matrix optical switch. Thus, with this application, a performance can be greatly enhanced, a matrix optical switch of a large size can be made,

25 a movement distance and time can be shortened with a micro-sized and light-weighted reflecting device, and then a high-speed and a low energy consumption can be realized

30 [0012]

[EXAMPLES OF THE PREFERRED EMBODIMENTS]

An embodiment of this invention will be described as below. FIG.1 is a configuration diagram of a matrix optical switch of a first embodiment. There

35 are formed input light guide groove 2 and output light guide groove 3 on switch substrate 1, wherein input light-beam fibers  $4_1$  to  $4_3$  and output light-beam fibers

5<sub>1</sub> to 5<sub>3</sub> are attached into light guide grooves 2 and 3 in a state of optically connecting to lens 6. At each intersecting point of input light guide groove 2 and output light guide groove 3, there is formed a movable reflecting device and an actuator that moves the movable reflecting device, wherein there are formed movable mirror 7 as the movable reflecting device and linear actuator 8 and cell circuit 9 as the actuator that move movable mirror 7 over a surface of switch substrate 1 in parallel. A mirror surface of movable mirror 7 stands at an angle of reflecting an incident light beam through input light guide groove 2 toward output light guide groove 3.

[0013]

With this structure, when a light beam travels in a straight way, movable mirror 7 is received in receiving groove 10 spaced apart from input/output light guide grooves 2 and 3. When address signal 11 indicative of a given intersecting point is output via interface circuit 12, linear actuator 8 of the intersecting point is driven and then movable mirror 7 is moved and inserted into an intersecting point of input/output light guide grooves 2 and 3. As a result, an incident light beam is reflected at the intersecting point and a light passage is deviated. FIG.1 depicts that light beam A emitted from input light fiber A<sub>1</sub> is connected to output light fiber 5<sub>2</sub> reflecting at intersection point a, whereas a light beam emitted from input light fiber 4<sub>2</sub> is connected to output light fiber 5<sub>3</sub> reflecting at intersecting point b.

[0014]

To select each intersecting point arranged in matrix form, a conventional address decoder is used. FIG.2 depicts an equivalent circuit of cell circuit 9 at each intersecting point. In this embodiment, an address signal is configured in such a way that the

address signal is divided into X address decoder 14<sub>1</sub> and Y address decoder 14<sub>2</sub>, each one of X address line 15<sub>1</sub> and Y address line 15<sub>2</sub> is activated, a given intersecting point is selected by select circuit 16 in cell circuit 9 and then driver circuit 17 drives actuator 8. Driver circuit 17 may be disposed within Y address decoder 14<sub>2</sub>, not in cell circuit 9.

[0015]

Switch substrate 1 of FIG.1 is formed on a silicon wafer using LSI technology and recently developed micromachining technology. A processing of a deep groove or a vertical mirror surface required to form movable mirror 7 and actuator 8 or a formation of a construction permitting to freely move can be realized using a silicon crystal anisotropic etching, a sacrifice layer etching and a convergence ion beam etching. Electro circuits like select circuit 16 and actuator driver circuit 17 are integrally formed on the same silicon substrate using LSI technology. FIG.1 depicts that address decoder circuits 14<sub>1</sub> and 14<sub>2</sub> and interface circuit 12 are also integrally formed on switch substrate 1, but these peripheral circuits are not necessary to be integrally formed.

[0016]

FIGS. 3 to 5 are views illustrating an example of a movement mechanism of a movable mirror driven by a linear actuator at each intersecting point. Firstly, FIG.3 depicts an example of an electrostatic induction-type linear actuator formed on a silicon substrate, wherein movable electrode 22 attached to and mounted into mirror 21 (corresponds to movable mirror 7) is interposed by three-phase driver electrode 231 to 233 through an insulation film and an aerial space. When applying a positive pulse voltage to driver electrode 231, negative charge 24 is induced at a surface of a position corresponding to movable electrode 22. Then, when reversing a

polarity of the pulse voltage and applying a positive voltage to adjacent electrode 232, by action of attracting force occurred between charge 24 and adjacent electrode 232 and repulsive force occurred between charge 24 and electrode 231, a movable electrode is moved. Accordingly, mirror 21 can be moved linearly by applying a pulse voltage with a different phase sequentially to three-phase driver electrode 231 through 233.

10 [0017]

FIG.4 depicts an example of an electrostatic induction-type linear actuator, wherein permanent magnet slider 32 of which a side face is mirror 31 (corresponds to mirror 7) is fitted into a narrow guide groove (not shown) and electromagnets 33 and 34 are fixed at both ends of the guide groove. With attracting force and repulsive force between thin-filmed coil 35 and permanent magnet 32 by switching a direction of S/N controlling a direction of an electric current of thin-filmed coil 35 of electromagnets 33 and 34, permanent magnet slider 32, that is, mirror 31 can be moved.

[0018]

FIG.5 depicts an example of a ultrasound driven linear actuator formed on piezoelectric thin film, wherein slide mirror 43 (corresponds to movable mirror 7) is disposed on a surface of piezoelectric thin film 42 of ZnO having comb-shaped electrode 41 on a reverse side a back face interposing a guide groove (not shown). When applying a phase-displaced high frequency voltage to comb-shaped electrode 41, a ultrasound stationary wave occurs on the surface of piezoelectric thin film 42 and its progress can cause slide mirror to move.

35 [0019]

Besides the foregoing three examples, as a driver principle of a liner actuator that this invention

can apply to, methods in which a micro mirror is set on a cantilever composing of a shape-memory alloy thin film and by changing a temperature passing an electric current into the cantilever, the mirror is moved, a micro mirror is set to a cantilever using a thin film piezoelectric bimorph and a displacement occurred by allocation of a voltage to the cantilever causes the mirror to move, a magnetostriction thin film and a magnetic field are used instead of the piezoelectric bimorph or an optical crystal indicative of an opticalstriction and light illumination are used can be utilized.

[0020]

In these methods using the movable mirror and the linear actuator, the mirror and linear actuator are can be formed in matrix form with a micro dimension on a substrate of silicon and the like.

[0021]

The foregoing embodiments describe that the movable mirror is moved in parallel and then inserted into the input/output light passage, but the mirror can be inserted into the input/output light passage by rotating the movable mirror. FIG.6 depicts a configuration example of an intersecting point where to rotate movable mirror 52 disposed on rotor 51 having a rotating shaft standing upright to a substrate by an electrostatic induction-type micro step motor. In a case where a light beam travels in a straight way, movable mirror 52 is received inside a side wall of a light guide groove as shown by a virtual line, but when an intersecting point is selected, rotor 51 of the micro step motor rotates and then movable mirror 52 is inserted into the input/output light passage. An angle of movable mirror 52 is disposed accurately by holding mirror 53 against wall face 53 of a given angle formed on the input/output light passage. This embodiment uses a principle of a rotary actuator as



a step motor, but on top of that, any of an electromagnetic induction-type rotary motor, an ultrasound rotary motor, electrostriction, magnetostriction and opticalstriction or a  
5 combination of them can be also used as a driver principle. Or, a rotating shaft is disposed in parallel relation to a substrate, wherein, when a light beam travels in a straight way, a mirror may be rotated to a horizontal position and a vertical  
10 position when the light is reflected.

[0022]

In the foregoing embodiments in which a reflecting device is a mirror, as far as a light beam is efficiently reflected, the device is not limited to  
15 the mirror. Also, a light guide groove, an input/output light fiber and lens are referred to as one of embodiments, but it is quite obvious that they are not a sine qua non for this invention.

[0023]

#### 20 [EFFECT OF THE INVENTION]

As described, according to this invention, lots of movable reflecting devices and actuators in micro spacing relation can be arranged in matrix form on the same substrate, so a matrix optical switch of  
25 a large size can be formed. For example, intersecting point spacing of  $200\mu\text{m}$  can be formed and in this case, a dimension of a 100-by-100 micro optical switch becomes 2cm square, which means that a miniaturization of 1/10000 in comparison to the prior  
30 arts can be realized. Further, with a micro-sized and light-weighted reflecting device, a movement distance and time are shortened, so there is a merit that a high-speed and a low energy consumption can be obtained.

35

#### 4. BRIEF DESCRIPTION OF DRAWINGS

FIG.1 is a configuration view of a matrix optical

switch of an embodiment of this invention.  
 FIG.2 is a view of an equal circuit of a cell circuit  
 at an intersecting point of the same  
 embodiment.

5 Fig.3 is a configuration view of a first linear  
 actuator for moving a movable mirror of the  
 same embodiment in parallel.

FIG.4 is a configuration view of a second linear  
 actuator for moving a movable mirror of the  
 10 same embodiment in parallel.

FIG.5 is a configuration view of a third linear  
 actuator for moving a movable mirror of the  
 same embodiment in parallel.

FIG.6 is an explanatory view of a mechanism of a rotary  
 15 actuator for rotating a movable mirror of the  
 same embodiment in parallel.

FIG.7 is a configuration view of a matrix optical  
 switch in the prior art.

20 [Denotes of references]

1. SWITCH

2. INPUT/OUTPUT GUIDE GROOVE

3. INPUT/OUTPUT LIGHT GUIDE GROOVE

4. INPUT LIGHT FIBER

25 5. OUTPUT LIGHT FIBER

6. LENS

7. MOVABLE MIRROR

8. LINEAR ACTUATOR

9. CELL CIRCUIT

30 10. RECEIVING GROOVE

11. ADDRESS SIGNAL

12. INTERFACE CIRCUIT

14<sub>1</sub>. X ADDRESS DECODER CIRCUIT

14<sub>2</sub>. Y ADDRESS DECODER CIRCUIT

35 15<sub>1</sub>. X ADDRESS LINE

15<sub>2</sub>. Y ADDRESS LINE

16. SELECT CIRCUIT

- 17.DRIVER CIRCUIT
- 21 MIRROR
- 22 MOVABLE ELECTRODE
- 231-233. THREE-PHASE DRIVER ELECTRODE
- 5 24.NEGATIVE CHARGE
- 31.MIRROR
- 32.PERMANENT MAGNET SLIDER
- 33-34.ELECTROMAGNET
- 35.THIN-FILMED COIL
- 10 41.COMB-SHAPED ELECTRODE
- 42.PIEZOELECTRIC THIN FILM
- 43.SLIDER MIRROR
- 51.ROTOR OF MICRO STEP MOTOR
- 52.MOVABLE MIRROR
- 15 53 WALL FACE